

**VŠB – Technická univerzita Ostrava
Fakulta elektrotechniky a informatiky
Katedra elektroenergetiky**

**Vliv vedení VVN a ZVN na produktovody z hlediska indukce
nebezpečných napětí**

**Influence of very high voltage and extra high voltage AC
power lines on pipelines**

VŠB - Technická univerzita Ostrava
Fakulta elektrotechniky a informatiky
Katedra elektroenergetiky

Zadání bakalářské práce

Student: **Denis Roman**

Studijní program: B2649 Elektrotechnika

Studijní obor: 3907R001 Elektroenergetika

Téma: **Vliv vedení VVN a ZVN na produktovody z hlediska indukce
nebezpečných napětí**
**Influence of very high voltage and extra high voltage AC power lines on
pipelines**

Jazyk vypracování: čeština

Zásady pro vypracování:

Práce se týká problematiky napětí indukovaných do produktovodů (plynovodů, ropovodů) z blízkých vedení VVN a ZVN zejména při zkratech. Při těchto stavech může docházet ke vzniku nebezpečného napětí. Problematiku popisuje norma ČSN 332165. V současné době se tímto problémem na katedře zabýváme. Student bude problematiku řešit v kolektivu pracovníků Katedry elektrotechniky.

- Seznámení se s problematikou výpočtu indukovaných napětí dle ČSN 332165 a případných protiopatření.
- Seznámení se s projektovaným plynovodem (VTL plynovod v úseku Tvrdonice-Libhošť), dle dokumentace a v přiměřené míře i v terénu.
- Výpočty indukovaných napětí na vybraných úsecích plynovodu.
- Návrh protiopatření, budou-li nutná.

Seznam doporučené odborné literatury:

- [1] ČSN 332165 - Elektrotechnické předpisy - Zásady pro ochranu ocelových izolovaných potrubí uložených v zemi před nebezpečnými vlivy venkovních trojfázových vedení a stanic vvn a zvn, Praha: Český normalizační institut, 2014
- [2] Miloslav Hodinka: Elektrické sítě I. VŠB Ostrava 1973.
- [3] Libor Dědek: Teorie elektromagnetického pole, VUT Brno 1990.
- [4] ČSN EN 60909-0 - Zkratové proudy v trojfázových střídavých soustavách - Část 0: Výpočet proudů, Praha: Český normalizační institut, 2002
- [5] ČSN 038350, Požadavky na protikoroziní ochranu úložných zařízení, Září 1996, Praha: Český normalizační institut, 1996

Formální náležitosti a rozsah bakalářské práce stanoví pokyny pro vypracování zveřejněné na webových stránkách fakulty.

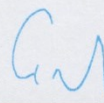
Vedoucí bakalářské práce: **Ing. Václav Kolář, Ph.D.**

Datum zadání: 01.09.2015

Datum odevzdání: 28.04.2017



prof. Ing. Stanislav Rusek, CSc.
vedoucí katedry




prof. RNDr. Václav Snášel, CSc.
děkan fakulty

Vyhlásenie študenta

Prehlasujem, že som túto bakalársku prácu vypracoval samostatne. Uviedol som všetky literárne pramene a publikácie, z ktorých som čerpal.

V Ostrave dňa: 20. 4. 2017


.....
podpis študenta

Pod'akovanie

Rád by som týmto poďakoval pánovi doc. Ing. Václav Kolář, Ph.D. za dodanie potrebných materiálov, odbornú pomoc a konzultáciu pri vytváraní tejto bakalárskej práce.

Abstrakt

Cieľom tejto bakalárskej práce je popísať problematiku indukovaného napätia a výpočet indukovaného napätia na jednotlivých úsekoch plynovodu.

V teoretickej časti sa budeme zaoberať popisom jednotlivých vlivov pôsobiacich na potrubia pod vlivom napätia s trojfázového vedenia vvn alebo zvn. Ďalej budú spomenuté následky vzniknuté pri chybných podmienkach na potrubia a v poslednej teoretickej časti budú popísané možné ochrany k uvedeným problémom.

Vo vypočetnej časti budeme počítat' indukované napätie plynovodu v úseku Tvrdonice - Libhošť. Tento úsek sa ďalej rozdelí na ďalšie malé úseky, na ktorých sa bude počítat' dané indukované napätie a v prípade nutnosti navrhne ochrana.

Kľúčové slova

potrubie, trojfázové vedenie, korózia, ochranné opatrenia

Abstract

The aim of this thesis is to describe the problems of induced voltage and calculate the induced voltage on the individual sections of the pipelines.

In the theoretical part we will deal with the description of the various influences acting on the pipes under the influence voltage from three-phase wiring HV or VHV. Next will be mentioned consequences arising out of fault conditions on the pipelines and in the last theoretical part will be described possible protection to those problems.

In the computing part we will calculate the voltage inducted in the pipeline section Tvrdonice - Libhošť. This section is further subdivided into small sections, where will be calculated induced voltage and if necessary suggest protection.

Key words

pipe, three-phase wiring, corrosion, protective measures

Obsah

Zoznam použitých symbolov	-9-
Zoznam ilustrácií a zoznam tabuliek.....	-11-
Úvod.....	-12-
1 Nebezpečné vlivy	-13-
1.1 Induktívne vlivy	-13-
1.2 Kapacitné vlivy	-17-
1.3 Galvanické vlivy	-18-
2 Poškodenie pri poruchových podmienkach.....	-21-
2.1 Ohrozenie života	-22-
2.2 Poškodenie kovu	-22-
2.3 Poškodenie koróziou	-24-
2.4 Poškodenie povlaku	-25-
2.5 Defekt povlaku.....	-26-
3 Ochranné opatrenia potrubia	-27-
3.1 Ochrana pred indukčným vlivom	-27-
3.2 Ochrana pred kapacitným vlivom.....	-28-
3.3 Ochrana pred galvanickým vlivom	-29-
3.4 Ochrana pred koróziou.....	-30-
3.4.1 Materiál, ochranný povlak a obklad	-30-
3.4.2 Inhibítory	-31-
3.4.3 Katodická ochrana.....	-32-
4 Výpočet indukčného vlivu	-33-
Záver	-40-
Použitá literatúra	-41-
Zoznam príloh	-43-

Zoznam použitých symbolov

Symbol	Jednotky	Význam symbolu
AC	A	Striedavý prúd
a	m	Ekvivalentná šírka súbehu
a _e	m	Vzdialenosť elektród
a _v	m	Oblasť induktívneho vlivu
B _c	S.km ⁻¹	Susceptancia potrubia
b	m	Najkratšia vzdialenosť medzi stredom uzemnenej sústavy a osou potrubia
C	F	Kapacita
D	m	Priemer potrubia
d	m	Priemer kruhového defektu ktorý ma oblasť rovnakú k aktuálnemu defektu
DC	A	Stejnosemerný prúd
e	-	Eulerova konštanta
f	Hz	Kmitočet
G	S.km ⁻¹	Konduktancia potrubia
G _p	μS.m ⁻²	Priemer konduktivity izolácie potrubia
I _{AC}	A.m ⁻²	Hustota striedavého prúdu
I _f	kA	Chybný prúd
I _k	A	Skratový prúd
I _z	A	Časť skratového prúdu uzemnenej stanice
L _k	km	Dĺžková konštanta potrubia
l	km	Dĺžka vypočítaného úseku
M	μH.km ⁻¹	Súčiniteľ vzájomnej indukcie
R	Ω.km ⁻¹	Pozdĺžna rezistencia potrubia
R	Ω	Odpor
R _z	Ω.km ⁻¹	Odpor uzemnenej stanice
r	m	Vzdialenosť cez ktorú môže doísť k iskreniu
r ₀	-	Polomer ekvivalentnej uzemnenej sústavy stanice
r _e	-	Celkový redukčný činiteľ trojfázového vedenia
r _z	A	Redukčný činiteľ zemných lán
r _z	-	Celkový redukčný činiteľ potrubia systému
S	m ²	Rozloha uzemnenej stanice
t	s	Doba trvania skratu
U _d	V	Napätie proti zemi
U _i	V	Indukované napätie
U _i	V	Ideálne pozdĺžne napätie
U _{iv}	V	Celkové ideálne pozdĺžne napätie
U _N	V	Menovité napätie
U _p	V	Potenciál potrubia
U _{pmax}	V	Najväčší potenciál potrubia
U _z	V	Potenciál pôdy
u _p	V	Pomerná hodnota napätia na potrubí
V _{AC}	V	Potrubie AC napätia na uzemnenie
V _{crit}	kV	Zvyšovanie napätia na stožiaroch
w	-	Činiteľ pravdepodobnosti

X_L	$\Omega.km^{-1}$	Pozdĺžna reaktancia potrubia
x	-	Vypočetný parameter
γ	km^{-1}	Súčiniteľ šírenia
ϵ_0	$F.m^{-1}$	Permitivita vákua
ϵ_r	-	Pomerná permitivita izolácie potrubia
μ_0	$H.m^{-1}$	Permeabilita vákua
μ_r	-	Pomerná permeabilita ocele
ρ_{Fe}	$\Omega. m$	Merná rezistivita ocele
ρ_z	$\Omega.m$	Zdanlivá rezistivita pôdy
ϕ_γ	rad	Fázový uhol súčiniteľu šírenia

Zoznam ilustrácií a zoznam tabuliek

Číslo ilustrácie	Názov ilustrácie	Číslo stránky
1	Oblasť pôsobenia indukčného vlivu	13
2.1	Kapacitná väzba potrubia na povrchu potrubia	17
2.2	Kapacitná väzba potrubia v zemi	17
3	Priebeh zväčšovania sa korózie za čas	24
4	Metoda merania defektu na veľké potrubia alebo malé na povrchu zeme	26
5	Metoda merania defektu v zemi	26
6	Zapojenie katodickej ochrany	33

Číslo tabuľky	Názov tabuľky	Číslo stránky
1	Maximálne dovolené efektívne napätie	14
2	Rezistivita pôdy a jej stupeň agresivity	16
3	Hodnoty súčiniteľu vzájomnej indukčnosti a vypočítaného parametru x	16
4	Určenie pomernej hodnoty napätia na potrubí	20
5	Určenie dĺžkovej konštanty potrubia	21
6	Staticky zistená priemerná konduktivita izolácie potrubia	21
7	Odhadnutá bezpečnostná vzdialenosť od stožiaru	23
8	Dovolená ekvivalentná šírka súbehu pri kapacitnom vlive	29
9.1	Tabuľka vypočítaných hodnôt	38
9.2	Tabuľka vypočítaných hodnôt	39

Úvod

Tato bakalárska práca sa zaoberá vlivom trojfázového vedenia vvn a zvn, a ostatných nebezpečných vlivov na potrubie a potrebné opatrenia proti nim. Hlavným cieľom tejto práce je výpočet indukčného vlivu na potrubia uložených v zemi. Teoretický je tento vliv popísaný v kapitole 1 a výpočet je uvedený v kapitole 4. Okrem indukčného vlivu budú spomenuté teoreticky v kapitole 1 ďalšie dva vlivy pôsobiace s trojfázového vedenia vvn alebo zvn. Ide o kapacitný vliv ktorý pôsobí na potrubie, pokiaľ není ešte uložené v zemi, čiže pri dovoze a práci s potrubím. Potom galvanický vliv, ktorý zahŕňa do vlivu pôsobenia všetky vodivé časti v blízkosti trojfázového vedenia vvn alebo zvn. Tieto vlivy pôsobia na potrubie v závislosti na rezistivite pôdy a každý vliv ma svoju vzdialenosť. Podľa jednotlivých parametrov potrubia, vedenia a pôdy je možné tieto vlivy spočítať a v prípade nutnosti navrhnuť ďalšie ochranné opatrenia.

V kapitole 2 budú popísané ostatné chyby ktoré môžu pôsobiť a poškodiť potrubie, taktiež nadväzujú na nebezpečné vlivy s kapitoly 1. Pri týchto chybách dochádza k poškodeniu potrubia a jej ochrany, tým sa aj znižujú dané parametre a zväčšujú sa účinky nebezpečných vliv.

V kapitole 3 budú popísané jednotlivé ochrany k spomenutým vlivom s kapitoly 1 a 2. Budú tam ďalej spomenuté hlavné požiadavky podľa ktorých bude možné zvoliť potrebnú ochranu a potrubie, aby vyhovovalo svojmu okoliu.

1 Nebezpečne vlivy

Nebezpečným vlivom sú vystavené všetky potrubia uložené v zemi v oblasti trojfázových vedení vvn a zvn, ktoré sa prejavujú vznikom napätia a prúdu na potrubí.

- induktívne vlivy
- kapacitné vlivy
- galvanické vlivy

1.1 Induktívne vlivy

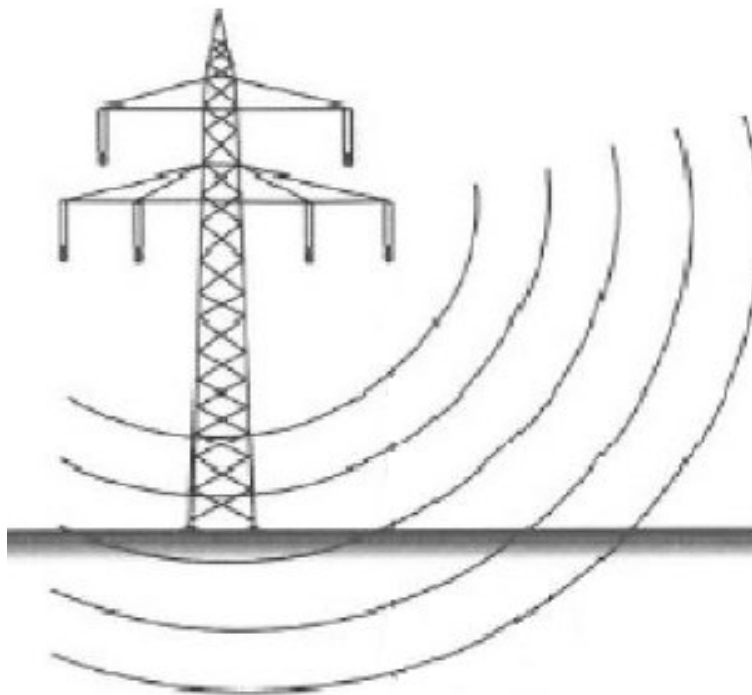
Je to vliv striedavého elektromagnetického pola na potrubie. Tento vliv sa vyskytuje najčastejšie nielen kvôli spôsobu vlivu, ale aj kvôli kapacitnému a galvanickému vlivu a jejich vzniku popísaných v kapitole 1.2 a 1.3. [2]

Pokiaľ by mali všetky fáze konštantné prúdy a vzdialenosť medzi vodičmi a potrubím by bola rovnaká, nevzniklo by žiadne indukované napätie. Tento spôsob je nemožný keďže prúdy na fázach sú rozdielne a vzdialenosť medzi potrubím je rôzna. [2][3]

Tomuto vlivu sú vystavené všetky oceľové izolované potrubie ako aj potrubie uložené nad zemou alebo v zemi v oblasti vlivu trojfázových vedení vvn a zvn. Mimo tejto oblasti vlivu je induktívny vliv zanedbateľný. Oblasť vlivu je daná: [1]

$$a_v = 300 \cdot \sqrt{\rho_z} \quad [m] \quad (1)$$

ρ_z zdanlivá rezistivita pôdy $[\Omega \cdot m]$



Obr. 1 Oblasť pôsobenia induktívneho vlivu [2]

U rovnobežných súbehov platí šírka súbehu (vzájomná vzdialenosť) a vzdialenosť medzi kolmicami preloženými osou potrubia a osou vonkajšieho vedenia, meraná v rovine kolmá na osu vonkajšieho vedenia. Výškové rozdiely terénu potrubia a terénu vonkajšieho vedenia je možné zanedbať, pokiaľ je uhol skoku medzi spojnicou bodu v ktorých kolmica pretína terén a vodorovnú priamku není väčší ako 30°. [1]

Pre šikmí súbeh sa počíta s ekvivalentnou šírkou súbehu vzt'ahom: [1]

$$a = \frac{a_1 + a_2}{2} \quad [\text{m}] \quad (2)$$

a_1, a_2 vzdialenosť koncov šikmého vedenia súbehu od trasy vonkajšieho vedenia vvn alebo zvn [m]

Výpočet súbehu musí vyhovovať podmienke uvedenej nižšie. Pokiaľ není podmienka splnená, rozdelí sa šikmí súbeh na niekoľko kratších vypočítaných úsekov, ktoré tieto podmienke vyhovujú.

$$\frac{a_1}{a_2} \leq 2 \quad \text{kde} \quad a_1 > a_2$$

Doba trvania t(s)	Dovolené efektívne napätie U_f (V)
$t \leq 0,1$	2000
$0,1 < t \leq 0,2$	1500
$0,2 < t \leq 0,35$	1000
$0,35 < t \leq 0,5$	650
$0,5 < t \leq 1$	430
$1 < t \leq 3$	150
$t > 3$	60

Tabuľka 1. Maximálne dovolené efektívne napätie [1]

Pokiaľ ideálne pozdĺžne napätie v tabuľke 1 je menšie ako dvojnásobne napätia proti zemi, efektívne napätie není nutné kontrolovať, v opačnom prípade sa musí vykonať výpočet pozdĺžneho napätia, ktorý je daný vzt'ahom: [1]

$$U_i = 2 \cdot \pi \cdot f \cdot M \cdot I_k \cdot w \cdot r_z \cdot l \cdot 10^{-6} \quad [V \cdot km^{-1}] \quad (3)$$

f kmitočet siete [Hz]

M súčiniteľ vzájomnej indukcie medzi dvoma vodičmi zo spätným vedením v zemi v tabuľke 3 [$\mu H \cdot km^{-1}$]

I_k jednofázový skratový prúd prechádzajúcim vedením [A]

w činiteľ pravdepodobnosti vyjadrujúci vliv zaťaženej siete (w= 0,7) [-]

r_z redukčný činiteľ zemných lán [A]

l dĺžka vypočítaného úseku [km]

Súčiniteľ vzájomnej indukčnosti medzi dvoma vodičmi zo spätným vedením v zemi sa určí z tabuľky 3 podľa parametru x a môže byť určená podľa vzťahu: [1]

$$x = 2,8 \cdot a \cdot \sqrt{\frac{f}{p_z}} \cdot 10^{-3} \quad [-] \quad (4)$$

f	kmitočet siete $[Hz]$
p_z	zdanlivá rezistivita pôdy $[\Omega \cdot m]$
a	šírka súbehu $[m]$

Pre súčiniteľ vzájomnej indukcie s frekvenciou 50 Hz platí: [1]

$$x = 19,8 \cdot \frac{a}{\sqrt{p_z}} \cdot 10^{-3} \quad [-] \quad (5)$$

Uzemnené laná vonkajších vedení a kovové plášte zemných káblov sa podieľajú na prenose poruchových prúdov vracajúcich so zemou. Uzemňovacia sústava vysokého napätia je týmto spôsobom účinne odľahčená od zemného poruchového prúdu. Rozsah tohto odľahčenia je vyjadrený redukčným činiteľom zemných lán. Pre redukčný činiteľ zemných lán sú hodnoty uvedené v norme ČSN 33 2160 a platí vzťah: [1][24]

$$r_z = r_e \cdot r_s \quad [-] \quad (6)$$

r_s	celkový redukčný činiteľ potrubia systému $[-]$
r_e	celkový redukčný činiteľ trojfázového vedenia $[-]$

Výpočet najväčšieho potenciálu potrubia prevedieme až keď vypočítame pozdĺžne napätie a je dvakrát väčšie ako v tabuľke 1. Výpočet najväčšieho potenciálu potrubia je daný vzťahom: [1]

$$U_{p \max} = \frac{U_i}{2 \cdot |\gamma|} \cdot (1 - e^{-\gamma}) \quad [V] \quad (7)$$

U_i	ideálne pozdĺžne napätie $[V \cdot km^{-1}]$
$ \gamma $	súčiniteľ šírenia $[km^{-1}]$

Pre súčiniteľ šírenia by mali parametre potrebné k výpočtu vopred zadane alebo ich treba zistiť majiteľa stanice ktorý by mal mať mapu s potrebnými údajmi a je daný vzťahom: [1]

$$|\gamma| = \sqrt[4]{(R + jX_L) \cdot (G + jB_C)} \quad [km^{-1}] \quad (8)$$

R	pozdĺžny rezistancia potrubia $[\Omega \cdot km^{-1}]$
X_L	pozdĺžny reaktancia potrubia $[\Omega \cdot km^{-1}]$

B_C	susceptancia potrubia $[S \cdot km^{-1}]$
G	konduktancia potrubia $[S \cdot km^{-1}]$

Rezistivitu pôdy určuje vodivosť pôdy a jej agresivita, meria sa pomocou štvorelektrodovej metódy. Rezistivita pôdy sa určuje kvôli návrhu rozmerov a umiestnenie zemničov, je daná vzťahom: [7]

$$p_z = 2 \cdot \pi \cdot a_e \cdot R \quad [\Omega \cdot m] \quad (9)$$

a	vzdialenosť elektrod $[m]$
R	nameraný odpor $[\Omega]$

$p_z [\Omega \cdot m]$	Agresivita
>100	Veľmi nízka
50-100	Stredná
23-50	Vysoká
<23	Veľmi vysoká

Tabuľka 2. Rezistivita pôdy a jej stupeň agresivity [6]

Rezistivita pôdy sa nemusí počítať v: [1]

- malých a stredných mestách kde je agresivita stredná
- veľkých mestách kde je agresivita vysoká
- veľkých mestách s veľkým priemyslovým zoskupením kde je agresivita veľmi vysoká

x	$ M $	x	$ M $	x	$ M $
0,001	1513	0,07	674	0,9	203
0,002	1375	0,08	648	1	186,5
0,003	1295	0,09	625	1,2	159
0,004	1238	0,1	604	1,4	136,4
0,005	1193	0,12	570	1,6	118
0,006	1157	0,14	540	1,8	103
0,007	1127	0,16	514	2	90
0,008	1100	0,18	492	2,5	66
0,009	1077	0,2	472	3	49
0,01	1056	0,3	396	3,5	37
0,02	919	0,4	343	4	28
0,03	839	0,5	303	4,5	22
0,04	783	0,6	271	5	17,4
0,05	739	0,7	245	5,5	14
0,06	704	0,8	222,5	6	11,5

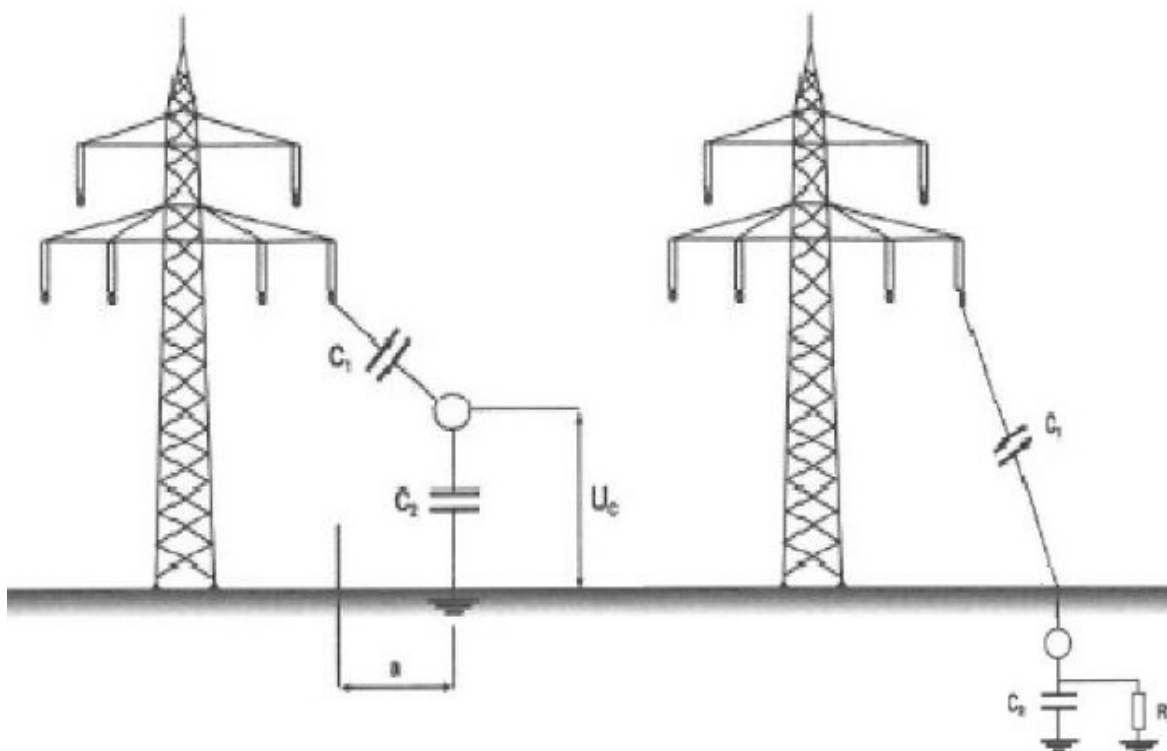
Tabuľka 3. Hodnoty súčiniteľa vzájomnej indukčnosti a vypočítaného parametru x [1]

Ak je potenciál potrubia väčší ako je dovolené v tabuľke 1, je nutné navrhnuť ochranné opatrenia. Na potrubia môže pôsobiť viac trojfázových vedení vvn alebo zvn, v tom prípade sa robí kontrola a ochrana proti nebezpečným vlivom len pre to vedenie, ktoré má na potrubie najväčší vliv. [1]

1.2 Kapacitný vliv

Je to vliv striedavého elektrického poľa na potrubie. Pokiaľ potrubie není ešte vložené v zemi a je na povrchu neuzemnené, okrem indukčného vlivu pôsobí na ne aj kapacitný vliv. Vtedy dochádza ku kapacitnej väzbe, ktorú určuje kapacita medzi trojfázovým vedením vvn alebo zvn a potrubím a kapacita medzi potrubím a zemou. [1][2]

Pokiaľ je potrubie pod kapacitným vlivom, nesmie jeho efektívna hodnota prúdu pri dotyku prechádzajúca telom a potrubím prekročiť 10 mA, ináč by došlo k ohrozeniu života. Ďalej môže doísť k ohrozeniu života aj mimo dotyk a to ak je potrubie uložené na izolovaných podperách, mohlo by doísť k vzniku vysokého napätia pri súbehu s trojfázovým vedením vvn a zvn o veľkosti niekoľkých kV až do vzdialenosti 100m. [2][3]



Obr. 2.1 Kapacitná väzba potrubia na povrchu zeme [2]

Obr. 2.2 Kapacitná väzba potrubia v zemi [2]

C_1, C_2

kapacita $[F]$

a

vzdialenosť medzi prvým vodičom a potrubím $[m]$

Pre obr. 2.1 kapacitnú väzbu potrubia na povrchu zeme, medzi zemou a potrubím a najbližším fázovým vodičom na trojfázovom vedení vvn alebo zvn a potrubím, platí vzťah pre indukované napätie: [3]

$$U_I = U_N \cdot \frac{C_1}{C_1 + C_2} \quad [V] \quad (10)$$

C_1	kapacita medzi najbližším fázovým vodičom a potrubím $[F]$
C_2	kapacita medzi zemou a potrubím $[F]$
U_N	menovité napätie vedenia $[V]$

Pre obr. 2.2 potrubie uložené v zemi ma kapacitu zanedbateľnú kvôli zemnému odporu.

1.3 Galvanický vliv

Je to vliv prúdu prechádzajúceho zemou na potrubie. Tento vliv pôsobí na potrubia iba v blízkosti trojfázového vedenia vvn alebo zvn, v oblasti by nemala efektívna hodnota napätia proti zemi ktorá pôsobí na potrubie dosiahnuť väčšie hodnoty ako v tabuľke 1. [1][2]

Oblasť galvanického vlivu je okolo trojfázového vedenia vvn alebo zvn vo vzdialenosti 10 m. V tejto vzdialenosti pôsobí v okolí galvanický vliv ktorý vyvoláva efektívnu hodnotu napätia proti zemi. V oblasti väčšej ako je 10 m sa galvanický vliv nemusí počítať, v ostatných prípadoch by sa mal galvanický vliv obmedziť. [1][2]

Efektívna hodnota napätia proti zemi vyvolaná galvanickým vlivom sa nemusí kontrolovať ak je trojfázové vedenie vvn alebo zvn vo väčšej vzdialenosti ako 300 m, pre menšie napätia je oblasť pôsobenia 100 m. Pokiaľ je vzdialenosť väčšia ako uvedené hodnoty medzi potrubím a opleteným daného trojfázového vedenia nemusia sa robiť žiadne kontroly v ostatných prípadoch sa musia navrhnuť ochranné opatrenia. [2]

Pôsobenie galvanického vlivu sa určí podľa napätia proti zemi, toto napätie vzniká na potrubí najmenej vzdialenom od uzemnenej sústavy. Pokiaľ vyhovuje hodnota napätia proti zemi v tom prípade sú není nutné ochranné opatrenia proti galvanickému vlivu. Napätie proti zemi je napätie medzi vodičom vedenia a referenčnou zemou v danom bode elektrickej oblasti, je daná vzťahom: [1]

$$U_d = (U_z - U_p) \cdot w \quad [V] \quad (11)$$

U_z	potenciál pôdy $[V]$
U_p	potenciál potrubia $[V]$
$w[-]$	činiteľ pravdepodobnosti vyjadrujúci vliv zaťaženej siete ($w=0,7$) $[-]$

Nárast potenciálu pôdy je daný merným odporom pôdy, zemnou impedanciou existujúceho uzemnenia. Pri výpočte sú uvažované všetky zemniče a uzemnené systémy, ktoré sú spoľahlivé pripojené k dotýčnému uzemňovaciemu systému. Potenciál pôdy je daný vzťahom: [1][25]

$$U_z = I_z \cdot \frac{2}{\pi} \cdot \arcsin \frac{r_0}{b} \quad [V] \quad (12)$$

I_z	časť skratového prúdu uzemnenej stanice $[A]$
r_0	polomer ekvivalentnej uzemnenej sústavy stanice $[-]$
b	najkratšia vzdialenosť medzi stredom uzemnenej sústavy a osou potrubia $[m]$

S rastúcim odporom okolo uzemnenej stanice a klesajúcou hodnotou na potrubí rastie potenciál potrubia podľa exponenciálnej závislosti. Najväčší potenciál potrubia je daný vzťahom: [1]

$$U_p = I_z \cdot R_z \cdot u_p \quad [V] \quad (13)$$

R_z	odpor uzemnenej stanice $[\Omega \cdot km^{-1}]$
u_p	pomerná hodnota napätia na potrubí $[V]$

Uzemňovacie sústavy pre ochranné účely je priame spojenie vodivých častí elektrickej inštalácie alebo častí súvisiacich s elektrickou inštaláciou so zemou za účelom ochrany pred účinkami elektrických polí a uzemnenie uzla transformátora vvn a zvn. Je daný vzťahom: [1][11]

$$r_0 = \sqrt{\frac{S}{\pi}} \quad [-] \quad (14)$$

S	rozloha uzemnenej stanice $[m^2]$
-----	-----------------------------------

Pomerná hodnota napätie na potrubí potrebná k výpočtu maximálneho potenciálu potrubia sa nepočíta ale je vyčíslená v tabuľky 4 v závislosti dĺžkového konštanty potrubia L_k od polomeru ekvivalentnej uzemnenej sústavy r_0 a najkratšia vzdialenosť medzi stredom uzemnenej sústavy a potrubím b od polomeru ekvivalentnej uzemnenej sústavy r_0 . [1]

$\frac{L_k}{r_0}$	0,3	0,5	1	2	3	5	10	20	30	50	100	200	300	500	1000
$\frac{b}{r_0}$	u_p														
1,001	0,824	0,742	0,602	0,451	0,368	0,275	0,179	0,111	0,081	0,053	0,028	0,015	0,01	0,006	0,003
1,003	0,816	0,736	0,598	0,449	0,366	0,274	0,179	0,11	0,081	0,053	0,028	0,015	0,01	0,006	0,003
1,006	0,807	0,729	0,595	0,447	0,365	0,273	0,178	0,11	0,081	0,053	0,028	0,015	0,01	0,006	0,003
1,01	0,797	0,722	0,589	0,444	0,363	0,272	0,178	0,11	0,081	0,053	0,028	0,015	0,01	0,006	0,003
1,3	0,757	0,691	0,579	0,432	0,356	0,267	0,175	0,108	0,08	0,052	0,028	0,015	0,01	0,006	0,003
1,6	0,714	0,656	0,546	0,418	0,344	0,26	0,171	0,107	0,078	0,051	0,028	0,014	0,01	0,006	0,003
1,1	0,669	0,62	0,521	0,402	0,333	0,253	0,167	0,105	0,077	0,05	0,027	0,014	0,01	0,006	0,003
1,3	0,53	0,501	0,436	0,347	0,297	0,227	0,153	0,097	0,072	0,047	0,026	0,013	0,009	0,005	0,003
1,6	0,416	0,399	0,357	0,295	0,253	0,2	0,138	0,09	0,067	0,044	0,024	0,013	0,008	0,005	0,003
2	0,326	0,317	0,291	0,248	0,217	0,175	0,125	0,082	0,062	0,04	0,022	0,012	0,008	0,005	0,003
2,5	0,258	0,253	0,238	0,208	0,185	0,153	0,112	0,075	0,057	0,038	0,021	0,011	0,007	0,005	0,002
3	0,214	0,211	0,201	0,18	0,162	0,136	0,102	0,07	0,053	0,036	0,2	0,01	0,007	0,004	0,002
3,5	0,183	0,181	0,174	0,158	0,144	0,123	0,094	0,065	0,05	0,033	0,019	0,01	0,007	0,004	0,002
4	0,16	0,158	0,153	0,141	0,13	0,113	0,087	0,062	0,047	0,032	0,018	0,009	0,006	0,004	0,002
5	0,127	0,127	0,124	0,116	0,109	0,096	0,007	0,056	0,043	0,03	0,017	0,009	0,006	0,004	0,002

Tabuľka 4. Určenie pomernej hodnoty napätia na potrubí [1]

Dĺžková konštanta potrubia je vyčíslená v tabuľke 5 v závislosti na priemeru izolácie potrubia G_p a priemeru D . Pokiaľ sú není tieto hodnoty vopred zadané dĺžková konštanta potrubia je vypočítaná nasledujúcim vzťahom: [1]

$$L_k = \frac{1}{|\gamma| \cdot \cos \varphi_Y} \quad (15)$$

φ_Y fázový uhol súčiniteľa šírenia [rad]

$D[m]$	0,2	0,5	0,7	1	1,2	1,4
$G_p [\mu S \cdot m^{-2}]$	$L_k [m]$					
80	6788	4960	4365	3793	3526	3312
100	6045	4415	3885	3376	3138	2948
150	4906	3582	3151	2739	2545	2391
200	4236	3092	2720	2364	2197	2064
500	2665	1944	1710	1486	1381	1298
800	2104	1535	1350	1173	1090	1024
1000	1881	1372	1207	1049	975	916
1500	1535	1120	985	856	795	747
2000	1329	969	853	741	689	647
3000	1085	791	696	605	562	528

Tabuľka 5. Určenie dĺžkovej konštanty potrubia [1]

Doba uloženia potrubia	$G_{prum} [\mu S \cdot m^{-2}]$
Potrubie uložené v zemi viac ako 10 rokov	300 až 3000
Potrubie uložené v zemi menej ako 10 rokov	100 až 300
Potrubie nové (plasty)	30 až 100

Tabuľka 6. Staticky zistená priemerná konduktivita izolácie potrubia [1]

2 Poškodenie pri poruchových podmienkach

Kvôli nebezpečným vlivom pôsobiace na potrubia vzniknutých v okolí trojfázového vedenia vvn alebo zv, vznikajú poškodenia na potrubíach ale môžu ohroziť aj život osôb pri manipulovaní s potrubím. [5]

- ohrozenie života
- poškodenie kovu
- poškodenie koróziou
- poškodenie povlaku
- defekt povlaku

2.1 Ohrozenie života

K ujme na zdravie môže doísť pokiaľ osoba sa dotýka alebo je v blízkosti potrubia v oblasti trojfázového vedenia vvn alebo zvz. Dotykovému nebezpečenstvu dochádza pri dotyku potrubia alebo v okolí, ktoré je definované ako napätie medzi časťami potrubia, ako je katodická testovacia stanica a okolitou pôdou alebo okolitým izolovaným kovovým materiálom, ako je napríklad oplatenie ktorého sa môžeme dotknúť v rovnaký čas. Pokiaľ ide o úraz v blízkosti potrubia, dochádza k vodivej poruche medzi vysokým prúdom a napäťovým prechodom v pôde. Preto osoba pracujúca s potrubím v blízkosti trojfázového vedenia vvn alebo zvz musí mať potrebnú ochranu a pracovať pod dohľadom odborníka. K ohrozeniu života dochádza pri poruchovom ale aj v normálnom stave trojfázového vedenia vvn a zvz, a ostatných zariadení. [5][10]

2.2 Poškodenie kovu

Pri uzemnenej chybe trojfázového vedenia vvn a zvz môže doísť k vzniku oblúku (iskreniu) na vedľajšie potrubie, ktorých kov sa môže začať taviť ak je v dostatočnej blízkosti k stožiaru alebo uzemňovaciemu systému. Toto je považované za najnebezpečnejší AC efekt na potrubia v medzinárodnom prieskume. K tomuto efektu dochádza aj pokiaľ potrubie prechádza cez trojfázové vedenie vvn a zvz blízko stožiaru. Nebezpečenstvu tohto efektu sa dá vyhnúť obmedzením ionizačnej vzdialenosti a tým sa vyhlí trvalému oblúku. Tato vzdialenosť je považovaná za bezpečnú a závisí na veľkosti rozsahu poruchového prúdu a odporu pôdy. Pri poruche môže byť prúd až v desiatkach kA, počíta sa pomocou trojfázového vedenia vvn a zvz, a hodnoty použitej na výpočet bezpečnej vzdialenosti. Bezpečnostná vzdialenosť sa počíta na základe veľkosti poruchového bleskového prúdu a odporu pôdy: [9]

$$r = 0.08\sqrt{I_f} \cdot p \quad [m] \quad (17)$$

Vrchný vzťah platí pokiaľ je rezistivita menšia ako $100 \, \Omega \cdot m$, a pokiaľ je rezistivita pôdy väčšia ako $1000 \, \Omega \cdot m$ platí:

$$r = 0.047\sqrt{I_f} \cdot p \quad [m] \quad (18)$$

r	vzdialenosť cez ktorú môže doísť k iskreniu [m]
p	rezistivita pôdy [$\Omega \cdot m$]
I_f	chybný prúd [kA]

Pre väčšinu zásahov blesku až 95%, je bleskový prúd menší ako 100 kA. Vypočítaná bezpečnostná vzdialenosť pre $100 \, \Omega \cdot m$ a $1000 \, \Omega \cdot m$ rezistivity pôdy je 8 m a 14,8 m. Pokiaľ pôjde o rezistivitu pôdy medzi $100 \, \Omega \cdot m$ a $1000 \, \Omega \cdot m$, v tom prípade rovnica (17) vytvory najväčšiu hodnotu r ktorá by mala byť považovaná za bezpečnú vzdialenosť. [9]

Kanadské Elektrické Združenie popisuje test ktorý sa vykonáva za účelom stanovenia napätia potrebného na udržanie podnieteniu bleskového oblúku do potrubia cez rôzne typy pôdy v rozsahu

vzdialenosti. Výsledky testu boli použité na vytvorenie regresnej rovnice poskytujúce kritické napätie na udržanie oblúku v závislosti na vzdialenosti prírodnej zeminy: [9]

$$V_{crit} = 5,801 + 0,0703 \cdot D \quad (19)$$

D odstup [cm]
 V_{crit} zvyšovanie napätie na stožiaroch [kV]

Kanadské Elektrické Združenie vytvorila podobný test na zistenie preskokovej vzdialenosti pokiaľ sa tam nenachádza podnietenie bleskového oblúku. Výsledky boli použité na vytvorenie regresnej rovnice udávajúcej kritické preskové napätie pre začatie a udržanie oblúku v prírodnej zemine, na odstup: [9]

$$V_{crit} = 18,01 + 0,1082 \cdot D \quad (20)$$

D odstup [cm]
 V_{crit} zvyšovanie napätie na stožiaroch [kV]

Pokiaľ vieme poruchový prúd, zväčšovacie napätie môže byť spočítané. Napätie môže byť použité v regresnej rovnici (17) a (18) na zistenie bezpečnostnej vzdialenosti. Rovnica (19) zisťuje či môže dôjsť k podnieteniu bleskového oblúku a pokiaľ je risk k vytvoreniu bleskového oblúku zanedbateľný, potom oblúk preskoku je spočítaný podľa rovnice (20), na prepočítanie bezpečnostnej vzdialenosti. [9]

Pokiaľ chybný prúd nie je známy, bezpečnostná vzdialenosť na vyhnutie podnieteniu bleskového oblúku môže byť odhadnutá pomocou napätia trojfázového vedenia a rezistivitou pôdy, podľa tabuľky 7. [9]

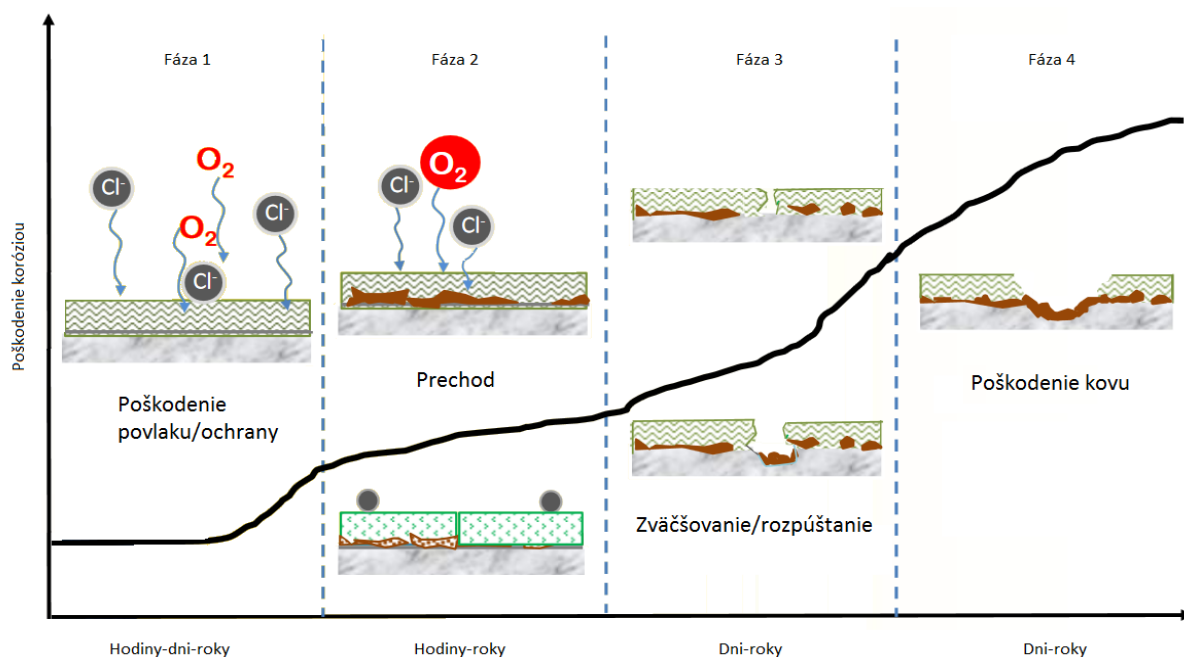
Napätie (kV)	Maximálna vzdialenosť trvalého oblúku (m)
35	2,5
69	5
120	9,1
230	18
500	41

Tabuľka 7. Odhadnutá bezpečnostná vzdialenosť od stožiaru

Tabuľka ukazuje že s rastúcim napätím rastie aj vzdialenosť. Tuto vzdialenosť by mohla zmenšiť iba rezistivita pôdy, pretože s rastúcou rezistivitou sa znižuje bezpečnostná vzdialenosť.

2.3 Poškodenie koróziou

Korózia je znehodnotenie a pri horších prípadoch deformácia skoro všetkých typov materiálu pôsobením rôznych vlivov s okolia. K vzniku korózie najčastejšie dochádza za prítomnosti elektrolytov a elektrického prúdu ktoré sa nachádzajú na povrchu materiálu. Štandardný potenciál charakterizuje elektrochemickú ušľachtilosť kovu, je to sklon prechádzať do iónového stavu a uvoľňovať elektróny. Po starnutí materiálu stráca svoju ochranu a aj pri pôsobení nízkej vlhkosti vzduchu začne po čase na nechránených úsekoch vznikať korózia. Pri silných dažďoch sa mnohonásobne rýchlosť korózie zrýchľuje a výnimkou není sú ani zariadenia uložené v zemi, keď pri daždi začne pôda pohlcovať vodu a jej vlhkosť sa oveľa zväčši, rýchlosť korózie sa tak zrýchli vlivom oveľa vyššej koncentrácie elektrolytov na povrchu materiálu. Dochádza vlastne k okysličovaniu povrchu, to je prechádzanie atómov materiálu do chemicky viazaného stavu. Atómy v tom prípade strácajú svoje elektróny ktoré sú potom primané inými latkami. Ku korózii môže doísť ale aj čisto chemickým vlivom, pôsobením agresívnych suchých plynov na povrch materiálu ktoré neobsahujú elektrolyty. Korózia je jeden z najväčších problémov pôsobiace na potrubia ktorá je spôsobená už od začiatku. Doteraz sa ale nenašlo kompletne riešenie na ochranu pred koróziou. [12]



Obrázok 3. Priebeh zväčšovania sa korózie za čas [5]

Korózia je jeden z najväčších problémov pôsobiacich na potrubie ktorá je spôsobená už od začiatku bez kompletného riešenia a môže k nej odísť v normálnom ale aj poškodenom stave trojfázového vedenia vvn alebo zvnn, aj pri pôsobení nebezpečných vlivov, preto potrubie začne po čase korodovať. Na obrázku je znázornený stav korózie na potrubí. [13]

Vo fázy 1 začnú na povlak potrubia narážať kyslíky a anióny chlóru, po čase dojde k poškodeniu povlaku. Vo fázy 2 začína dochádzať vlivom poškodenia povlaku k prechodu kyslíku a aniónu chlóru na potrubie a začne vznikať korózia. Vo fázy 3 sa zväčšovanie korózie zrýchľuje a dôjde ku kontaktu s kovom ktorý sa začne rozpúšťať. Vo fázy 4 je rýchlosť korózie najväčšia, dochádza k poškodeniu kovu, ktorý sa môže rozpustiť až do vnútra a začne dochádzať k úniku.

Za vznik korózie môže aj prúdová hustota, táto prúdová hustota nielen zväčšuje šancu na koróziu alebo zrýchľovanie, môže aj ukázať miesto kde by mohla vzniknúť. Podľa experimentu v Nemecku v roku 1986 sa ukázalo že na obale potrubia môže korózia vzniknúť aj pri splnených kritériách pre ochranu. Výsledky experimentu boli nasledovné: [4]

- AC korózia nevzniká pri AC hustote menšej ako je 20 A/m²
- AC korózia je nepredpovedateľná pri AC hustote 20 až 100 A/m²
- AC korózia vzniká pri AC hustote väčšej ako je 100 A/m²

AC hustota pre danú oblasť je daná rezistivitou pôdy, indukovaným napätím a veľkosťou povlakového defektu Experimentom je dokázané že najväčšia šanca na koróziu v defektu nastáva pri veľkosti 1 až 3 cm². AC hustota sa najlepšie meria cez priame meranie, ale môže byť aj teoreticky spočítaný: [4]

$$I_{AC} = \frac{8V_{AC}}{p \cdot \pi \cdot d} \quad [A \cdot m^{-2}] \quad (16)$$

V_{AC}	AC napätia k vzdialenej zemi [V]
p	rezistivita pôdy [$\Omega \cdot m$]
d	priemer kruhového defektu ktorý ma oblasť rovnakú k aktuálnemu defektu [m]

Tento experiment v Nemecku ukázal že korózia začne vnikat' nad AC hustotou 20 A/m² a s týmto tvrdením súhlasia aj ďalšie experimenty. Boli ale aj potvrdené experimenty pri ktorých začala vznikať korózia už pri AC hustote 10 A/m², ďalší experiment dokázal že pri AC hustote 20 A/m² je šanca na koróziu 90% alebo vyššia, pri absencii katodickej ochrany. [4]

2.4 Poškodenie povlaku

K poškodeniu povlaku pri poruchových podmienkach môže doísť ak napätie medzi potrubím a okolitou pôdou sa stane nadmerné veľké. Poruchové podmienky ktoré produkujú prebytočné stresové napätie na povlak môžu poškodiť povlak dielektrika. Poškodenia dielektrika závisia na veľkosti napätia gradientu a typu dielektrickej ochrany. Mimo typ dielektrika sú ďalšie parametre ktoré treba zohľadniť, ako sú: [13]

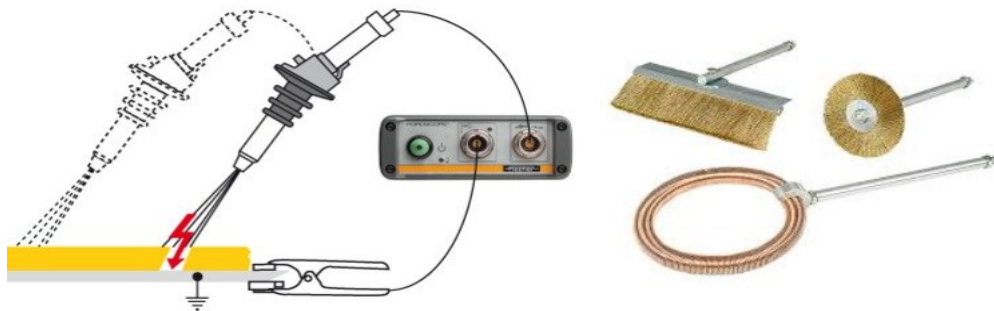
- veľkosť chybného prúdu
- rezistivita pôdy
- kvalita a vek ochrany (povlak)
- vzdialenosť medzi potrubím a stožiarom
- hrúbka povlaku a doba na odolanie pri chybných podmienkach

2.5 Defekt povlaku

Poškodenie povlaku popisuje chybu dielektrika a poklesu jeich materiálu, pri defekte ide o celkovú poruchu pri ktorej došlo k vzniku dier na povlaku a tým sa jedná o fyzickú chybu. V anglickom názve tento defekt sa popisuje ako holiday a ide o: [8]

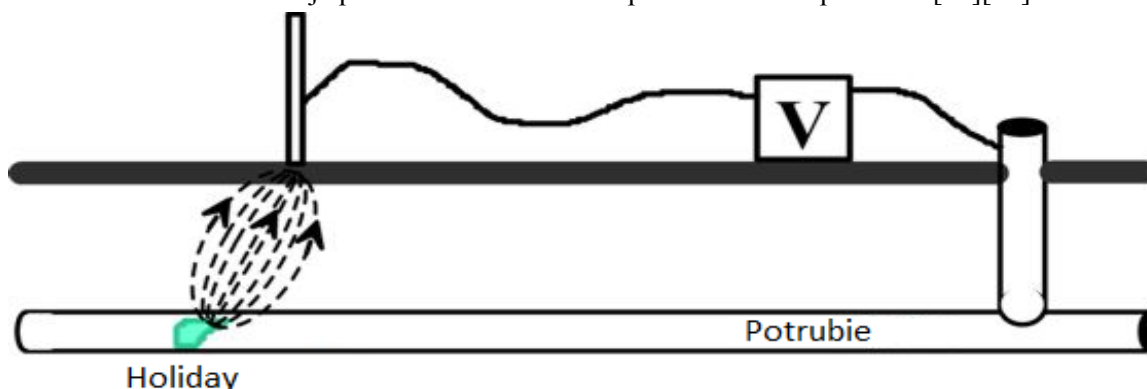
- časť povrchu ktorá není pod povlakom
- defekt ktorý má nedostatočnú hrúbku povlaku nanesenú na potrubí
- diera v povlaku
- trhlinka v povlaku
- nesprávne nanesený povlak

Na zisťovanie chýb defektu uvedených vyššie sa používajú potrebné zariadenia. Tento test je nedeštruktívny a test zahŕňa aj kontrolu elektrického okruhu, či prúd preteká bez chyby cez elektrický okruh. Test defektu sa vykonáva pôsobením nízkeho napätia pripojeného v sérii s LED alebo nástrojom na vytváranie hluku ako je piezoelektrický reproduktor. Pokiaľ dôjde k detekcii elektrického toku, v tom prípade to znamená že potrubie je poškodené a nachádza sa tam trhlinka alebo diera. [14]



Obrázok 4. Metoda merania defektu na veľké potrubia alebo malé na povrchu zeme [20][21]

Tento test sa používa na testovanie defektu len pokiaľ potrubie je na povrchu alebo dostatočne veľké pre osobu ktorá to meria priamo vo vnútri potrubia. Na meranie potrubia na povrchu zeme v blízkosti trojfázového vedenia vvn a zvn musí byť potrubie uzemnené. Pokiaľ je potrubie v zemi používa sa elektrická geofyzická metóda, pri ktorej elektrický signál nanosený na chránenú štruktúru preteká cez defekt a dovoľuje presne nasmerovanie na poškodenú časť potrubia. [14][22]



Obrázok 5. Metoda merania defektu v zemi [22]

3 Ochranné opatrenia potrubia

Základná požiadavka na ochranu potrubia je, aby boli potrubia po celej dĺžke súbehu a vonkajšieho súbehu až do vzdialenosti odpovedajúcej dĺžkovej konštantne potrubia L_k (ktoré sú uvedené v tabuľke 5.) by sa nemalo potrubie prerušovať izolačnými spojkami. Pokiaľ sú izolačné spojky nutné, je potrebné aby prístupné časti potrubia vonkajších izolačných spojok boli izolované obalom alebo zábranou a ochranu pred nebezpečným dotykom. [1]

3.1 Ochrana pred indukčným vlivom

Pokiaľ vyjde súbeh potrubia uloženého v zemi s vonkajším trojfázovým vedením vvn alebo zvn výpočtom podľa kapitoly 1 a potenciál potrubia väčší ako je dovolené podľa tabuľky 1, je nutné potrubie uzemniť jedným s uvedených spôsobov: [1]

- uzemnenie cez jednosmerné oddeľovacie zariadenie
- uzemnenie pomocou galvanických anód

Uzemnenie sa inštaluje buď rozložené pozdĺž potrubia, sústredené na oboch koncoch súbehu, alebo v miestach kde potenciál potrubia prekračuje dovolenú medzu a je doporučene uzemnenia inštalovať v miestach kontrolných meracích a prepojujúcich objektov. Na jeich uzemnenie sa používajú strojené uzemnenie ktoré sú vo forme uzemnených kovových dosiek, páskou (drôtov) alebo tyčí zapustených do zeme v dostatočnej hĺbke. Typ a hĺbka uloženého uzemnenia musí byť taká, aby sa pri vysychaní pôdy a jeich zmrznutí nezvyšoval odpor uzemnenia nad požadovanú hodnotu 15Ω . Presnejšie uvedené, páskové uzemnenie sa môže ukladať do výkopu spolu s potrubím a mala by sa zachovať minimálna vzdialenosť 0,2 m od povrchu potrubia. [1]

- pre povrchovú rezisivitu do $500 \Omega.m$ sa volí dĺžka pásku do 25 m
- pre povrchovú rezisivitu nad $500 \Omega.m$ sa volí dĺžka pásku do 50 m

V prípade že najväčší potenciál potrubia nevyhovuje, je potrebné prepočítať novú priečnu konduktanciu s novými hodnotami aby vyhovovali vyššie uvedeným požiadavkám a potom prepočítať potenciál potrubia s novou priečnou konduktanciou: [1]

$$G_v = G + \frac{n}{R_z} \quad (21)$$

G	priečna konduktancia [$S.km^{-1}$]
n	počet uzemnení na km
R_z	zemný odpor [Ω]

Pokiaľ potrubie končí vo vnútri súbehu, je potrebné v mieste ukončenia pripojiť k potrubiu uzemnenie, ktorého zemný odpor odpovedá približne vlnovej impedancii potrubia podľa rovnice (2), ktorá udáva potenciál s pripojeným uzemnením a porovná sa s dovolenými hodnotami podľa tabuľky 1. Ak hodnoty odpovedajú hodnotám tabuľky 1, v tom prípade ochranné opatrenia spĺňajú svoj účel.

Pokiaľ nebolo dosiahnuté zníženie potenciálu pod dovolenú hodnotu, musí sa navrhnúť väčší počet uzemnení alebo zmenšiť zemný odpor. Ak ani v tomto prípade neodpovedá daným hodnotám, je treba navrhnúť pre prístupné časti potrubia a jeho zariadenia niektoré z ochranných opatrení podľa ochrany pred galvanickým vlivom uvedených nižšie v kapitole 3.3. [1]

Uzemnenie rozložené pozdĺž potrubia sa rozmiesti po celej dĺžke súbehu a na obe strany vonkajšieho súbehu do vzdialenosti dĺžkovej konštanty potrubia L_k uvedené v tabuľke 5. Na prepojenie vedenia medzi potrubím a uzemnením sa použije medený izolačný vodič o priereze aspoň 4 mm². Pri rozložení pozdĺžneho potrubia sa s výhodou dá použiť ako uzemnenie oceľové neizolované chráničky potrubia. [1]

Sústredené na oboch koncoch súbehu sa volí tak, aby počet a zemný odbor mali účinok približne rovnaký ako rozložené usporiadané uzemnenie. Na prepojenie vedenia medzi potrubím a uzemnením sa použije na konci súbehu izolovaný prepojavací medený vodič o priereze aspoň 16 mm². [1]

3.2 Ochrana pred kapacitným vlivom

Neuzemnené časti izolovaného potrubia umiestnené pri konštrukcii nad zemou a vystavené kapacitnému vlivu súbežného trojfázového vedenia vvn alebo zvn, sa pri prevádzkovom stave musí uzemniť, pokiaľ ekvivalentná šírka súbehu je menšia ako udáva tabuľka 8. a dĺžka galvanicky prepojených častí potrubia je väčšia ako 200 m. [1]

Do 500 m vystačí jedna zemniaca tyč o minimálnej dĺžke 1m. Pre vzdialenosť väčšiu ako 500 m a ekvivalentný súbeh menší ako 300 m, je nutné potrubie uzemniť každých 500 m. Je doporučené použiť medené izolované lano na prepojenie vedenia medzi potrubím a uzemnením o priereze 16mm². Pri uzemňovaní potrubia je treba najprv pripojiť prepojovacie vedenie k uzemneniu a potom k potrubiu. Potrubie nesmie byť vodivo spojené s uzemnením stožiaru vvn alebo zvn.

Pre časti potrubia ktoré není treba uzemniť sa zrobí kontrola pozdĺžneho napätia pri krátkodobom induktívnom vlive, vyvolaným jednofázovým skratom na vedení vvn alebo zvn, podľa rovníc (3) a rovnice (21) uvedenej nižšie: [1]

$$U_{iv} = \sum_{j=1}^n U_{ij} \quad (22)$$

U_{iv}	ideálne pozdĺžne napätie [V]
n	počet vypočítaných úsekov [-]
U_{ij}	súčet ideálneho pozdĺžneho napätia [V]

Výsledky daných rovníc sa porovnajú s tabuľkou 1 a pokiaľ vyjde väčšie pozdĺžne napätie, uzemnenia sa tieto časti potrubia na oboch koncoch a po dĺžke súbehu vo vzdialenosti 500 m ako pri kapacitnom vlive. Pokiaľ ani v tomto prípade nevyhovuje podmienkam podľa tabuľky 1, je potrebné použiť pri práci s potrubím ochranné a pracovné pomôcky podľa ČSN 33 2000-6, ČSN 33 2000-5-54 a ČSN EN 50110-1 ed.3. [1]

ČSN 33 2000-6 norma popisuje revíziu elektrických inštalácií, tj. vzájomne spojených elektrických predmetov, ktoré majú koordinovanú charakteristiku používane k plnení jedného alebo niekoľko určených úkolov. Norma neplatí pre revíziu pripojených elektrických zariadení. Overuje a kontroluje len to, čo súvisí s bezpečnosťou elektrickej inštalácii a s nebezpečenstvom ktoré môžu byť s používaním elektrickej inštalácii spojená. [15]

ČSN 33 2000-5-54 norma popisuje zriaďovanie uzemnenia a pre ochranné vodiče aj s vodičmi ochranného pospojovania tak, aby elektrická inštalácia bola bezpečná. Je zameraná na uzemnenie a pospojovanie v objektoch a priestoroch s elektrickými inštaláciami. [16]

ČSN EN 50110-1 ed.3. norma popisuje potrebné minimálne požiadavky pre bezpečnú obsluhu a práce na elektrických zariadeniach alebo v jeich blízkosti, platné pre všetky štáty CENELEC, ale zároveň povoľuje terajšie rozdiely národných požiadavok na bezpečnosť. Platí aj pre všetky neelektrické pracovné činnosti ako sú stavebné práce v blízkosti vonkajšieho vedenia, uzemnených káblov, pracovnú činnosť na elektrických zariadeniach a všade tam kde existuje elektrické nebezpečenstvo. [17]

Menovité napätie vvn alebo zvn [kV]	Dovolená ekvivalentná šírka súbehu [m]
110	150
220	200
400	250
750	300

Tabuľka 8. Dovolená ekvivalentná šírka súbehu pri kapacitnom vlive [1]

3.3 Ochrana pred galvanickým vlivom

Pokiaľ je vzdialenosť od základu stožiaru a jeich uzemnenia väčšia ako 10 m, v tomto prípade sú neni nutné žiadne ochranné opatrenia. Pokiaľ však tato podmienka neni splnená, je nutné aby sa vybavili potrubia zosilnenou izoláciou do vzdialenosti 10 m z oboch strán potrubia od miesta priblíženia alebo použiť iné opatrenie k zvýšeniu prechodového odporu voči zemi. Medzi uzemnením stožiaru vedenia vvn alebo zvn a potrubím musí byť zachovaná minimálna vzdialenosť 2 m. Pokiaľ niesu základy stožiaru vedenia vvn alebo zvn vybavené prídavným uzemnením, platí tato vzdialenosť od základu stožiaru. [1]

Pomocou izolačných spojok je možné oddeliť potrubí od uzemňovacej sústavy elektrickej stanice. Izolačná spojka má byť vstavaná do potrubia mimo oblasť uzemňovacej sústavy, najmenej 2 m od okraja uzemnenia. Prístupné časti potrubia musia byť z oboch strán izolačnej spojky opatrené ochranou pred nebezpečným dotykom uvedené v kapitole 3. Po prekročení napätia v okolí elektrických staníc vvn alebo zvn medzi izolovaným potrubím uloženým v zemi a okolnou pôdou, vyvolané galvanickým vlivom a prekročení hodnôt podľa tabuľky 1 alebo neni možné izolačnú spojku realizovať, volí sa po prístupné časti potrubia a jeho zariadenia niektoré z uvedených ochranných opatrení: [1]

- zábrana dotyku

-
- izolovanie stanoviska – vrstva o hrúbke 15 cm alebo vrstva živичnej zmesi o hrúbke 3 cm
 - riadenie potenciálu zeme – použité v miestach dotyku s potrubím alebo u zariadení ktoré sú galvanicky spojené s týmto potrubím

3.4 Ochrana pred koróziou

Ako bolo spomenuté vyššie kompletne riešenie proti korózii není ale môžeme len oddialiť proces. Na zníženie výskytu korózie sa najčastejšie používajú: [18]

- materiál, ochranný povlak a obklad
- inhibítory
- katodická ochrana

3.4.1 Materiál, ochranný povlak a obklad

Ochranný povlak a obklad je v podstate vnútorná a vonkajšia ochrana potrubia, ktorá chráni potrubie pred poškodením a aby vydržali čo najdlhšie. Základné vlastnosti povlaku na potrubí by mali obsahovať: [13]

- Elektrický izolant – keďže pôdna korózia je elektrochemický proces, je treba izolovať potrubie od pôdy. Čím väčšia dielektrická sila, tým väčšia elektrická odolnosť.
- Parotesná zábrana – prenášanie vody cez povlak môže spôsobiť nadúvanie a tým zabráneniu izolácie.
- Použitelnosť – nanášanie povlaku na potrubie musí byť bezpečná metóda, ktorá neovplyvní vlastnosti materiálu potrubia a s minimálnym poškodením.
- Schopnosť odolávaniu defektu s časom – po zakopaní potrubia do zeme, povlak je pod náporom pôdy a kontamináciou pôdy, pod týmto tlakom môže dojsť k vytvoreniu dieram alebo trhlinám.
- Dobrá priľnavosť k povrchu potrubia – povlak na potrubí musí dobre doliehať na potrubie aby nedošlo k vniknutiu vody alebo sťahovaniu medzi potrubím a povlakom.
- Schopnosť vydržať normálne zaobchádzanie, uschovanie a inštaláciu – povlak musí mať schopnosť vydržať pri náraze a poškrabaní. Uschovanie potrubia je možné 6 mesiacov až 5 rokov, preto je jej odolnosť veľmi dôležitá.
- Schopnosť udržať podstatne konštantnú elektrickú rezistivitu s časom – efekt elektrickej rezistivity povlaku za m^2 závisí na:
 - rezistivita materiálu povlaku
 - hrúbka povlaku
 - odolnosť proti absorpcii vlhkosti
 - odolnosť proti prenosu vodnej pary
 - frekvencia a veľkosť defektu
 - odolnosť elektrolytov
 - priľnavosť povlaku

Pri testovaní môže doísť k výsledkom väčšej odolnosti, pokiaľ sa pôda neusadila okolo potrubia a vlhkosť prenikla do defektu na povlaku.

- Jednoduchá oprava – ochranný povlak nieje dokonalý preto sa počíta s opravami potrubia aj s opravami povlaku na potrubia v teréne. Oprava v teréne nikdy nieje dobrá ako originál pri výrobe.
- Netoxická interakcia s okolím – niektoré povlakové materiály boli vylepšene, obmedzené alebo zakázané kvôli bezpečnosti ekologických a zdravotných štandardov.

Vyššie uvedené vlastnosti sú základné ktoré by malo obsahovať každé chránené potrubie povlakom, pretože vlivy s elektrických vedení, korózie a ostatné veci uvedené v kapitolách vyššie sú neni jediné ktoré môžu spôsobiť poškodenie povlaku ale aj mrznutie, stromy, zosuv pôdy, atď. Preto okrem bodov uvedených vyššie sa pri výbere materiálov pre povlak a obklad, ale aj pre výber materiálu pre potrubia zohľadňuje naďalej aj: [13]

- prenášané médium
- typ okolia
- dostupnosti potrubia
- operačnej teploty potrubia
- geografická a fyzická lokalita
- typ povlaku ktorý už bol na potrubí nanesený
- inštalácie metódy
- cena
- povrch potrubia a jeho príprava

Všetky povlakové materiály a rozpúšťadla by mali byť uložené v originálnych kontajneroch s označením výroby a inštrukciami. Každý produkt by mal mať označenie číslom ukazujúci rok a mesiac výroby, miesto výroby a dobu možnú na skladovanie. [13]

3.4.2 Inhibítory

Korozívny inhibítor je látka, ktorá keď je pridaná do prostredia v malom množstve, efektívne znižuje rýchlosť korózie na kov v danom prostredí. Rozdeľujeme ich na: [8]

- anodické inhibítory – tvoria ochrannú vrstvu oxidu na povrchu kovu, ktorá spôsobuje odolnosť proti korózii. Tieto inhibítory najmä menia anodickú reakciu v chemických článkoch a nútia povrch kovu do regiónu pasivácie.
- katodické inhibítory – spomaľujú reakciu na katódach alebo urýchľujú katodickú oblasť za účelom zväčšenia impedancie na povrchu a tým k obmedzeniu šírenia redukovateľných druhov. Povaha závisí na druhu materiálu ktorý sa ma chrániť alebo látky ktoré majú byť neutralizované. Ide teda o chemickú zlúčeninu, ktorá znižuje rýchlosť korózie daného kovu alebo zliatiny keď sú pridané do kvapaliny alebo plynu. Účinnosť týchto inhibítorov je závislá

od režimu prietoku, množstva vody a kvapalnom prostriedku. Tento proces zahŕňa tvorbu pasívnej vrstvy na zabránenie vstupu korózie na kov.

- mixované inhibítory

Pri výbere korozívnych inhibítorov podľa typu je potrebné brať v úvahu: [8]

- materiál ktorí bude chránený
- metóda aplikácie (sprejovanie, natieranie, atď.)
- ekologické, zdravotné a bezpečnostné požiadavky
- typ produktu (olej/ rozpúšťadlo alebo na báze vody)
- typ požadovanej ochrany
- typ a hrúbka požadovaného zvyšku povlaku
- skladovanie (teplota, vlhkosť, sezónne podmienky)

Elektrochemické metódy sa bežne používajú pre vyhodnotenie účinnosti korozívnych inhibítorov. Výhody elektrochemických metód je jeho krátka doba merania a informácie o mechanizme, ktoré pomôžu pri navrhovaní stratégie na ochranu proti korózii, rovnako ako návrh nových inhibítorov. [8]

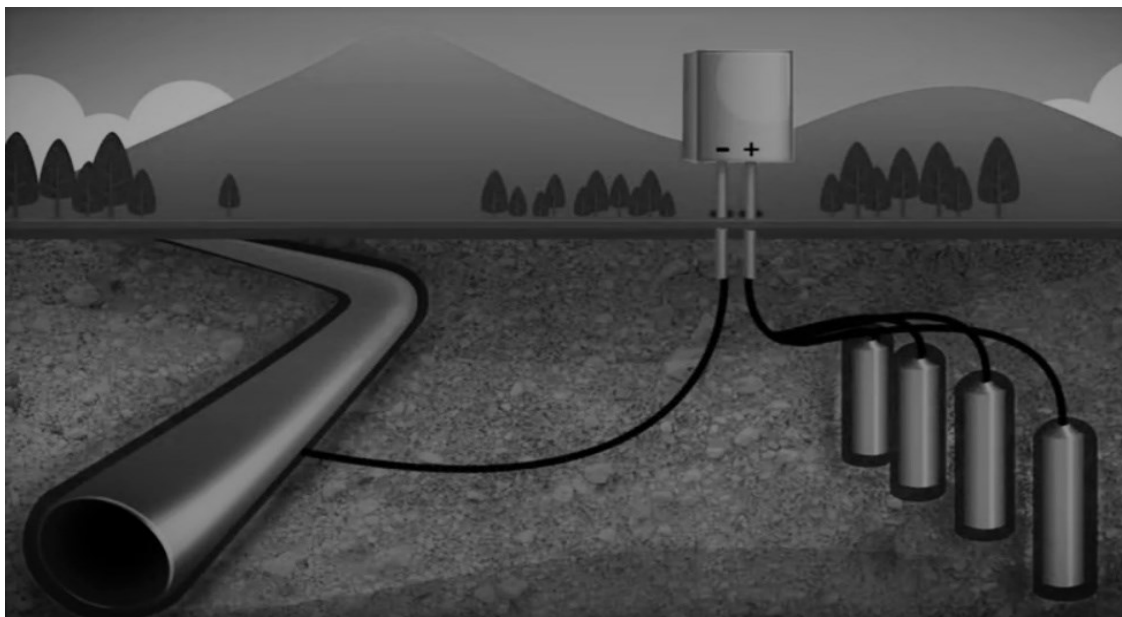
3.4.3 Katodická ochrana

Katodická ochrana je technika používaná na kontrolu korózie kovových látok v rôznych aplikáciach, čiže neni používaná len pri potrubiach v zemi ale aj ostatných prípadoch pri vzniku korózie. Je to jedna z najstarších ochrán pred koróziou ktorá sa používa dodnes, podmienkou je ale aby bolo potrubie uložené pod zemou alebo aspoň čiastočne. Tato ochrana sa používa až ako druhá, najprv je treba potrubie ochrániť protikorozívnym obkladom alebo povlakom, v inom prípade by katodická ochrana potrebná na ochranu pred koróziou bola nadmerná. [19]

Katodická ochrana je zložená s anódy a katódy, kde potrubie slúži ako katóda. Potrubie je zvyčajne anóda ktorá obsahuje kladne nabité častice. Dodávaním elektrického prúdu sa stane potrubie pasívne alebo katodické. Je dokázané, pokiaľ prúd príde ku katóde rýchlejšie ako oxigen, vtedy dochádza k spomaleniu alebo ochrane pred koróziou. [19]

Ako anóda sa používa takzvaná vložená prúdová anóda, ktoré skoro nekorodujú moc alebo vôbec. Anódy sú uložené taktiež v zemi vzdialené od potrubia určitou vzdialenosťou, ktorá je daná vodivosťou pôdy. Pôda sa zmeria v rôznych hĺbkach a určí sa jej vodivosť, potom sa podľa toho určí ideálna vzdialenosť anódy od katódy. Ďalšia potrebná vec je usmerňovač, ktorý slúži ako DC napájací zdroj a dodáva elektróny do systému, ktorý zastavuje koróziu na potrubí. [19]

Niekedy je viac ekonomické použiť systém galvanických anód. Tento systém na dodávanie elektrón nepoužíva usmerňovač, ale anódy horčíku, zinku alebo hliníku. Anódy sa neskôr zničia a korodujú namiesto potrubia. [19][23]



Obr. 6 Zapojenie katodickej ochrany [23]

4 Výpočet induktívneho vlivu

Príklad výpočtu pre projektovaný plynovod Tvrdonice – Libhošť, pre súbeh s vedením 400 kV, číslo celého úseku 497 o dĺžke 25,5 km.

Hodnoty ocelového potrubia uloženého v zemi:

Priemer potrubia $D = 1 \text{ m}$

Hrúbka izolácie potrubia $\delta = 3 \cdot 10^{-3} \text{ m}$

Priemerná konduktivita izolácie $G_{\text{prum}} = 100 \text{ } \mu\text{S} \cdot \text{m}^{-2}$

Skratový prúd prechádzajúci vedením v bode od 24 km smerom dole $I_k = 4010 \text{ A}$

Skratový prúd prechádzajúci vedením v bode od 36,5 km smerom hore $I_k = 11450 \text{ A}$

Skratový prúd prechádzajúci vedením v bode od 36,5 km smerom dole $I_k = 4450 \text{ A}$

Skratový prúd prechádzajúci vedením v bode od 49,5 km smerom hore $I_k = 10020 \text{ A}$

Redukční činiteľ zemniaceho lana $r_z = 0,67$

Činiteľ pravdepodobnosti $w = 0,7$

Doba trvania skratu $t = 0,6 \text{ s}$

Merná rezistivita ocele $\rho_{\text{Fe}} = 0,16 \cdot 10^{-6} \text{ } \Omega \cdot \text{m}$

Permeabilita vákua $\mu_0 = 4 \cdot \pi \cdot 10^{-7} \text{ H} \cdot \text{m}^{-1}$

Pomerná permeabilita ocele $\mu_r = 200$

Permitivita vákua $\epsilon_0 = \frac{1}{36 \cdot \pi} \cdot 10^{-9} \text{ F} \cdot \text{m}^{-1}$

Pomerná permitivita izolácie potrubia $\epsilon_r = 5$

Ostatné hodnoty potrubia podľa jednotlivých vypočítaných úsekoch sú uvedené v tabuľke 9. a 10.

Príklad výpočtu podľa 1 úseku na mape a v tabuľke:

Ekvivalentná šírka súbehu:

$$a = \frac{a_1 + a_2}{2}$$
$$a = \frac{1118 + 823}{2}$$
$$a = 970,5 \text{ m}$$

Parameter x:

$$x = 19,8 \cdot \frac{a}{\sqrt{\rho_z}}$$
$$x = 19,8 \cdot \frac{970,5}{\sqrt{112}}$$
$$x = 1,82$$

Súčiniteľ vzájomnej indukčnosti z tabuľky 3. podľa x:

$$|M| = 105 \mu\text{H} \cdot \text{km}^{-1}$$

Ideálne pozdĺžne napätie:

$$U_i = 2 \cdot \pi \cdot f \cdot |M| \cdot I_k \cdot l \cdot w \cdot r_z \cdot 10^{-6}$$
$$U_i = 2 \cdot \pi \cdot 50 \cdot 105 \cdot 10020 \cdot 1,6 \cdot 0,7 \cdot 0,67 \cdot 10^{-6}$$
$$U_i = 247,9 \text{ V}$$

Súčet všetkých úsekov pozdĺžneho napätia:

$$U_{iv} = \sum_{j=1}^n U_{ij}$$
$$U_{iv} = 247,9 + 88,54 + 84,4 + 278,89 + 262,36 + 81,31 + 42,79 + 253,8 + 339,39 + 313,94$$
$$+ 33,94 + 48,69 + 98,87 + 22,43 + 187,4 + 17,71 + 29,07$$
$$U_{iv} = 2251,81 \text{ V}$$

-podmienka není splnená $2251,81 > 2000$ a preto je potrebné počítať potenciál potrubia

-u vedenie s bodu B, pri vedení prúdov s dvoch strán sa počíta rozdiel súm $1380,87 - 463,39 = 917,48$

Ideálne pozdĺžne napätie na 1 km:

$$U_{i2} = 2 \cdot \pi \cdot f \cdot |M| \cdot I_k \cdot w \cdot r_z \cdot 10^{-6}$$
$$U_{i2} = 2 \cdot \pi \cdot 50 \cdot 105 \cdot 10020 \cdot 0,7 \cdot 0,67 \cdot 10^{-6}$$
$$U_{i2} = 154,94 \text{ V}$$

Pozdĺžna rezistancia potrubia:

$$R = \left(\frac{\sqrt{\rho_{Fe} \cdot \mu_0 \cdot \mu_r \cdot \omega}}{\pi \cdot D \cdot \sqrt{2}} + \frac{\mu_0 \cdot \omega}{8} \right) \cdot 10^3$$

$$R = \left(\frac{\sqrt{0,16 \cdot 10^{-6} \cdot 4 \cdot \pi \cdot 10^{-7} \cdot 200 \cdot 2 \cdot \pi \cdot 50}}{\pi \cdot 1 \cdot \sqrt{2}} + \frac{4 \cdot \pi \cdot 10^{-7} \cdot 2 \cdot \pi \cdot 50}{8} \right) \cdot 10^3$$

$$R = 0,07499 \Omega \cdot \text{km}^{-1}$$

-platí pre všetky úseky

Pozdĺžna reaktancia potrubia

$$X_L = \left(\frac{\mu_0 \cdot \omega}{4 \cdot \pi} \cdot 2 \cdot \ln \frac{3,7 \cdot \sqrt{\rho_z}}{D \cdot \sqrt{\mu_0 \cdot \omega}} + \frac{\sqrt{\rho_{Fe} \cdot \mu_0 \cdot \mu_r \cdot \omega}}{\pi \cdot D \cdot \sqrt{2}} \right) \cdot 10^3$$

$$X_L = \left(\frac{4 \cdot \pi \cdot 10^{-7} \cdot 2 \cdot \pi \cdot 50}{4 \cdot \pi} \cdot 2 \cdot \ln \frac{3,7 \cdot \sqrt{112}}{1 \cdot \sqrt{4 \cdot \pi \cdot 10^{-7} \cdot 2 \cdot \pi \cdot 50}} + \frac{\sqrt{0,16 \cdot 10^{-6} \cdot 4 \cdot \pi \cdot 10^{-7} \cdot 200 \cdot 2 \cdot \pi \cdot 50}}{\pi \cdot 1 \cdot \sqrt{2}} \right) \cdot 10^3$$

$$X_L = 0,5 \Omega \cdot \text{km}^{-1}$$

Priečna susceptancia potrubia:

$$G = \pi \cdot D \cdot G_{\text{prum}} \cdot 10^{-3} = \frac{\pi \cdot D \cdot J}{0,3} \cdot 10^{-3}$$

$$G = \pi \cdot 1 \cdot 100 \cdot 10^{-3}$$

$$G = 0,314 \text{ S} \cdot \text{km}^{-1}$$

-platí pre všetky úseky

Priečna konduktancia potrubia:

$$B_C = \frac{\omega \cdot \pi \cdot D \cdot \varepsilon_0 \varepsilon_r}{\delta} \cdot 10^3$$

$$B_C = \frac{2 \cdot \pi \cdot 50 \cdot \pi \cdot 1 \cdot \frac{1}{36 \cdot \pi} \cdot 10^{-9} \cdot 5}{3 \cdot 10^{-3}} \cdot 10^3$$

$$B_C = 0,01463 \text{ S} \cdot \text{km}^{-1}$$

-platí pre všetky úseky

Súčiniteľ šírenia:

$$|\gamma| = \sqrt[4]{(R^2 + X_L^2) \cdot (G^2 + B_C^2)}$$

$$|\gamma| = \sqrt[4]{(0,07499^2 + 0,5^2) \cdot (0,314^2 + 0,01463^2)}$$

$$|\gamma| = 0,4 \text{ km}^{-1}$$

Fázový uhol súčiniteľa šírenia:

$$\varphi_\gamma = \frac{1}{2} \cdot \left(\arctan \frac{X_L}{R} + \arctan \frac{B_C}{G} \right)$$

$$\varphi_\gamma = \frac{1}{2} \cdot \left(\arctan \frac{0,5}{0,07499} + \arctan \frac{0,01463}{0,314} \right)$$

$$\varphi_\gamma = 0,73 \text{ rad}$$

-hodnota X je skoro všade rovnaká, preto aj uhol je vo všetkých úsekoch rovnaký

Absolútna hodnota výrazu:

$$|1 - e^{-\gamma \cdot l}| = \sqrt{\left[1 - \frac{\cos(|\gamma| \cdot l \cdot \sin \varphi_\gamma)}{e^{|\gamma| \cdot l \cdot \cos \varphi_\gamma}}\right]^2 + \left[\frac{\sin(|\gamma| \cdot l \cdot \sin \varphi_\gamma)}{e^{|\gamma| \cdot l \cdot \cos \varphi_\gamma}}\right]^2}$$

$$|1 - e^{-\gamma \cdot l}| = \sqrt{\left[1 - \frac{\cos(|0,4| \cdot 1,6 \cdot \sin 0,73)}{e^{|0,4| \cdot 1,6 \cdot \cos 0,73}}\right]^2 + \left[\frac{\sin(|0,4| \cdot 1,6 \cdot \sin 0,73)}{e^{|0,4| \cdot 1,6 \cdot \cos 0,73}}\right]^2}$$

$$|1 - e^{-\gamma \cdot l}| = 0,51$$

Dĺžková konštanta potrubia:

$$L_k = \frac{1}{|\gamma| \cdot \cos \varphi_\gamma}$$

$$L_k = \frac{1}{0,4 \cdot 0,73}$$

$$L_k = 3,4 \text{ km}$$

Najväčší potenciál na koncoch vypočetného úseku pri uzemnenom potrubí:

$$U_{pmax} = \frac{U_{i2}}{2 \cdot |\gamma|} \cdot |1 - e^{-\gamma \cdot l}|$$

$$U_{pmax} = \frac{154,94}{2 \cdot 0,4} \cdot 0,51$$

$$U_{pmax} = 97,9 \text{ V}$$

Pokles potenciálu potrubia podľa exponenciálnej závislosti:

$$U_p = U_{pmax} \cdot e^{\frac{-y}{L_k}}$$

$$U_p = 97,9 \cdot e^{\frac{-0}{3,4}} + 38,2 \cdot e^{\frac{-1}{3,4}} + 30,59 \cdot e^{\frac{-3,2}{3,4}} + 103,49 \cdot e^{\frac{-5,3}{3,4}} + 107,43 \cdot e^{\frac{-6,7}{3,4}} + 26,9 \cdot e^{\frac{-9,6}{3,4}}$$

$$+ 18,5 \cdot e^{\frac{-10,6}{3,4}} + 58,98 \cdot e^{\frac{-11,1}{3,4}} + 115,45 \cdot e^{\frac{-11,86}{3,4}} + 45,07 \cdot e^{\frac{-12,16}{3,4}} + 34,25 \cdot e^{\frac{-15,36}{3,4}}$$

$$+ 11,33 \cdot e^{\frac{-15,86}{3,4}} + 14,2 \cdot e^{\frac{-16,16}{3,4}} + 15,61 \cdot e^{\frac{-17,96}{3,4}} + 154,49 \cdot e^{\frac{-20,26}{3,4}} + 7,67 \cdot e^{\frac{-21,26}{3,4}}$$

$$+ 14,68 \cdot e^{\frac{-22,46}{3,4}}$$

$$U_p = 185,55 \text{ V}$$

-kde $185,55 < 1000$ a potrubie vyhovuje, nieje potrebné žiadne ďalšie ochrany

Záver k štvrtej kapitole:

Tento úsek bolo potrebné rozdeliť na 17 menších úsekov, aby vyhovovali podmienkam. Pre uľahčenie boli veľmi malé úseky zanedbané a výpočet bol prepočítaný podľa vedenia 400 kV ktorý je po celej dĺžke úseku. K ostatným vedeniam krížiacim sa s potrubím neboli od firmy dodané parametre, stačilo by ale podľa parametrov vedenia (skratového prúdu) prepočítat daný úsek, kontrola a ochrana by sa robila len pre najväčšie napätie.

Na začiatku je potrebné vypočítať, či potrubie je v oblasti induktívneho vlivu, pokiaľ by niekde došlo k prerušeniu tohto vlivu vznikol by s toho nový úsek. V tomto prípade je celý úsek potrubia o dĺžke 24,06 km pod induktívnym vlivom. Vypočítali sme súbeh potrubia a vedenia v jednotlivých malých úsekoch, pomocou ktorého sme spolu s rezistivitou pôdy zistili indukciiu. Čím menšia je vzdialenosť potrubia od vedenia, tým väčšia je indukčnosť ktorá ovplyvňuje ideálne pozdĺžne napätie. Ďalším parametrom je skratový prúd na vedení. V tomto prípade boli určené tri body a to na začiatku vedenia (A), v strede (B) a na konci (C). Na konci vedenia v bode (C) je skratový prúd najväčší, pretože prúd preteká smerom dole a daný bod (C) je od stanice vo vzdialenosti približne 20 km. V bode (A) je tento prúd najmenší, pretože výpočet bol robený pre prúd pretekajúci smerom hore a stanica je vzdialená od bodu (A) približne 80 km.

Ďalej je potrebné porovnať výpočet ideálneho napätia s tabuľkou 1. V našom prípade je čas skratu 0,3 s a dovolené napätie 1000 V. Musí tu platiť podmienka kde ideálne napätie je menšie ako 2 krát hodnota dovoleného napätia, v opačnom prípade je treba robiť výpočet potenciálu potrubia. Tento potenciál sa počíta na jednotku km, preto v každom úseku je potrebné prepočítať ideálne napätie na 1 km. Podľa parametrov potrubia sme určili súčiniteľ šírenia a absolútnu hodnotu, spolu s ideálnym napätím na 1 km sme určili maximálny potenciál. V prípade že by bol tento úsek celý a nie rozdelený na 17 malých úsekov by stačilo zrobiť výpočet potiaľto a porovnať s tabuľkou 1. Tu však bolo treba rozdeliť celý úsek na 17 malých úsekov aby vyhovovali podmienkam a preto je treba v poslednej časti vypočítať potenciál potrubia podľa exponenciálnej závislosti po celej dĺžke. Potom sa porovnajú tieto jednotlivé hodnoty 17 úsekov s tabuľkou 1 a v prípade že nevyhovujú, je treba zaobstarat' novú ochranu.

V tomto prípade pri skratovom čase 0,3 s, nebolo potrebné robiť novú ochranu. Pokiaľ by však bol čas skratu 1,1 s alebo viac, bolo by potrebné navrhnuť novú ochranu a to podľa kapitoly 3.1. Využili by sme vzorec pre pozdĺžnu konduktivitu (21) a prepočítali by sme celý výpočet pre potenciál potrubia s novou konduktivitou.

S výpočtu je možné teda vidieť čím väčšia je indukcia a skratový prúd, tým väčšie bude ideálne napätie, ktorého kontrola závisí na čase skratu.

Číslo úseku	ρl [Ω m]	a [m]	x [-]	$ M $ [$\mu\text{H.km}^{-1}$]	U_i [V] C 24km↓	U_{i2} [V] C 24km↓	U_i [V] B 36.5km↑	U_{i2} [V] B 36.5km↑	U_i [V] B 36.5km↓	U_{i2} [V] B 36.5km↓	U_i [V] A 49.5km↑	U_{i2} [V] A 49.5km↑	l [km]
1	112	970,5	1,82	105	99,21	62,01	110,10	68,81			247,90	154,94	1,6
2	98	1354	2,71	60	35,43	35,43	39,32	39,32			88,54	88,54	1
3	95	2059	4,18	26	33,78	15,35	37,49	17,04			84,40	38,37	2,2
4	32	588	2,06	90	111,61	53,15	123,86	58,98			278,89	132,80	2,1
5	33	441	1,52	127	105,00	75,00	116,52	83,23			262,36	187,40	1,4
6	42	1572	4,80	19	32,54	11,22	36,11	12,45			81,31	28,04	2,9
7	61	1558,5	3,95	29	17,13	17,13			48,90	48,90	42,79	42,79	1
8	66	455,5	1,11	172	50,79	101,57			145,01	290,03	126,90	253,80	0,5
9	63	308,5	0,77	230	103,23	135,82			294,75	387,83	257,94	339,39	0,76
10	64	343	0,85	212,75	37,69	125,64			107,62	358,74	94,18	313,94	0,3
11	66	1838	4,48	23	43,46	13,58			124,10	38,78	108,60	33,94	3,2
12	32	1058,5	3,70	33	9,74	19,49			27,82	55,64	24,35	48,69	0,5
13	36	764,5	2,52	67	11,87	39,57			33,89	112,98	29,66	98,87	0,3
14	38	1651	5,30	15,2	16,16	8,98			46,13	25,63	40,37	22,43	1,8
15	65	617	1,52	127	172,50	75,00			492,54	214,15	431,02	187,40	2,3
16	41	1932	5,97	12	7,09	7,09			20,23	20,23	17,71	17,71	1
17	39	1500	4,76	19,7	13,96	11,63			39,86	33,22	34,88	29,07	1,2
Celkom					901,17		463,39		1380,87		2251,81		

Tabuľka 9.1 Tabuľka vypočítaných hodnôt

U_{pmax} [V] A 24km ↑

A,B,C udáva bod na mape kde došlo k skratu

24 km vznik skratu na vedení v danej vzdialenosti

↑ udáva smer toku skratového prúdu s daného bodu na vedení podľa mapy

Číslo úseku	X_L [$\Omega \cdot \text{km}^{-1}$]	L_k [km]	γ [km^{-1}]	$1-e^{-\gamma \cdot l}$	U_{pmax} [V] C 24km↓	U_p [V] C 24km↓	U_{pmax} [V] B 36.5km↑	U_p [V] B 36.5km↑	U_{pmax} [V] B 36.5km↓	U_p [V] B 36.5km↓	U_{pmax} [V] A 49.5km↑	U_p [V] A 49.5km↑
1	0,50	3,40	0,40	0,51	39,18	74,26	43,48	88,66			97,90	185,55
2	0,50	3,41	0,40	0,34	15,29	76,56	16,97	93,50			38,20	191,31
3	0,50	3,42	0,40	0,64	12,24	84,49	13,58	110,07			30,59	211,12
4	0,47	3,57	0,38	0,60	41,42	112,71	45,96	157,91			103,49	281,64
5	0,47	3,56	0,39	0,44	42,99	117,15	47,71	178,52			107,43	292,73
6	0,47	3,53	0,39	0,74	10,76	110,08	11,94	230,86			26,90	275,05
7	0,49	3,48	0,39	0,34	7,40	117,45			21,14	273,62	18,50	293,48
8	0,49	3,47	0,39	0,18	23,60	123,04			67,40	298,06	58,98	307,43
9	0,49	3,47	0,39	0,27	46,20	126,57			131,92	318,53	115,45	316,28
10	0,49	3,47	0,39	0,11	18,04	121,53			51,50	307,72	45,07	303,68
11	0,49	3,47	0,39	0,80	13,71	83,15			39,14	221,85	34,25	207,77
12	0,47	3,57	0,38	0,18	4,54	82,43			12,95	220,81	11,33	205,98
13	0,47	3,55	0,39	0,11	5,68	80,15			16,23	215,63	14,20	200,26
14	0,47	3,54	0,39	0,54	6,25	74,52			17,83	204,87	15,61	186,20
15	0,49	3,47	0,39	0,65	61,83	86,98			176,54	244,55	154,49	217,33
16	0,47	3,53	0,39	0,34	3,07	69,23			8,76	194,60	7,67	172,99
17	0,47	3,54	0,39	0,39	5,88	52,28			16,78	147,07	14,68	130,63

Tabuľka 9.2 Tabuľka vypočítaných hodnôt

U_{pmax} [V]A 24km ↑

A,B,C udáva bod na mape kde došlo k skratu

24 km vznik skratu na vedení v danej vzdialenosti

↑ udáva smer toku skratového prúdu s daného bodu na vedení podľa mapy

Záver

V prvej kapitole sme sa zaoberali nebezpečnými vlivmi na potrubia pod vedením vvn a zvn. Sú tam popísané vznik týchto vlivov a pretože každý vliv vzniká pod inými podmienkami, tak má aj každý vliv svoj maximálny dosah. Pokiaľ je daný vliv mimo dosah, není potrebné robiť žiadnu kontrolu. V opačnom prípade sú pri galvanickom a induktívnom vlive uvedené vzorce pre výpočet a tabuľky podľa ktorých je potrebné skontrolovať či hodnoty vyhovujú. Kapacitný vliv nemá kontrolné výpočty, k tomuto vlivu dochádza len pri montáži kým je potrubie v blízkosti vedenie vvn a zvn neuložené v zemi, po vložení do zeme je kapacita zanedbateľná a preto jeho dosah spolu s ochranou je popísaný v kapitole 3.

V druhej kapitole sme sa zaoberali poškodením pri poruchových podmienkach. Tieto vlivy vznikajú pod rôznymi podmienkami a majú schopnosť priamo poškodiť potrubie, tým sa zmenia vlastnosti potrubia. Najväčším problémom je korózia ktorá vzniká na každom potrubí uloženom v zemi. Pri týchto defektoch môže dojsť k najhoršiemu prípadu a to je ku kompletnému prerazeniu potrubia. Ktoré je potom potrebné ošetriť a prelepiť.

V tretej kapitole sú uvedené ochrany k spomenutým problémom v prvej a druhej kapitole. U nebezpečných vlivov je najdôležitejšie uzemnenie, je tam popísaný jeich počet a vzdialenosť od seba. U korózii je potrebná katodická ochrana. Čo sa týka ostatných vlivov, ide hlavne o správny vyber materiálu a ochrany. Tu je potrebné brať do úvahy terén, počasie, médium prenášané potrubím a ostatné veci uvedené v kapitole 3.

Hlavným cieľom tejto bakalárskej práce bolo určiť indukované napätie na potrubie v úseku Tvrdonice - Libhošť, poprípade navrhnúť ochranu. Daný úsek je vyznačený na mape uvedenej v prílohe. Na začiatku štvrtej kapitoly sú uvedené výpočty a na konci je urobený zvlášť záver spolu aj s popisom pre štvrtú kapitolu.

Použitá literatura

- [1] ČSN 33 2165 - Zásady pro ochranu ocelových izolovaných potrubí uložených v zemi před nebezpečnými vlivy venkovních trojfázových vedení a stanic vvn a zvn
- [2] ADAMEK, M. *Vliv nadzemního elektrického vedení na úložná zařízení* [online]. Plzeň, 2012. Bakalářská práce na elektrotechnické fakultě Západočeské Univerzity na katedře teoretické elektrotechniky. Vedoucí diplomové práce Ing. Lenka Šroubová.
https://otik.uk.zcu.cz/bitstream/handle/11025/2815/Martin_Adamek.pdf?sequence=1
- [3] ZEDNÍK, J. *Korozní odolnost trub z tvárné litiny proti bludným proudům* [online]. Praha, 2015. Diplomová práce na elektrotechnické fakultě České Vysoké Učení Technické v Praze na katedře elektrotechnologie. Vedoucí diplomové práce Ing. Ivan Cimbolinec.
https://dspace.cvut.cz/bitstream/handle/10467/61141/F3-DP-2015-Zednik-Jiri-DP_Zednik_Jiri.pdf
- [4] DNV GL, *Criteria for Pipelines Co-Existing ITL Electric Power Lines* [online]. The INGAA Foundation FINAL Report No. 2015-04. <http://www.ingaa.org/File.aspx?id=24732>
- [5] CAPP, *Guide Influence of High Voltage DC Power Lines on Metallic Pipelines* [online download]. 2014.
https://www.google.sk/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&source=web&cd=2&ved=0ahUKEwiOi3t2dDSAhWkIpoKHVjGBvgQFggjMAE&url=http%3A%2F%2Fwww.capp.ca%2F~%2Fmedia%2Fcustomer-portal%2Fpublications%2F249167.pdf&usq=AFQjCNG7j5JPttWm3ptr5KLW2aQU_Qjqqa&sig=2=SIbE4yHvW7oB3QDFjOrcCA
- [6] Homero Castaneda, Ph.D. *Corrosion/damage assessment for coating/substrate underground pipelines Interfaces* [online]. National Center for Corrosion Research and Education Chemical and Biomolecular Engineering in The University of Akron, Corrosion Forum
<https://www.uakron.edu/dotAsset/bfedab5a-df18-4692-b765-73ba4680a7fb.pdf>
- [7] Ing. Tomáš Mlčák, Ph.D. *Zemní odpor zemniče, Rezistivita půdy* [online]. Ostrava, 2009. Návod do měření na fakultě elektrotechniky a informatiky Technické Univerzity Ostrava na katedře elektrotechniky. http://fei1.vsb.cz/kat420/vyuka/FAST/1-Mereni_zemniho_odporu.pdf
- [8] Problémy spojené s korózí [online] <https://www.corrosionpedia.com/dictionary/tags/corrosion>
- [9] R.A.Gummow, P.Eng, Nace Corrosion Specialist NO. 17 Correg Consulting Service Inc. *A/C Interference Guideline Final Report* [online]. Canada 2014. <http://www.cepa.com/wp-content/uploads/2016/11/AC-Interference-Guidelines-Final-Report-FOR-PUB..pdf>
- [10] Jose R. Daconti. *Electrical Risks in Transmission Line – Pipeline Shared Rights-of-way*. [online]
<https://w3.usa.siemens.com/datapool/us/SmartGrid/docs/pti/2004october/Electrical%20Risks%20in%20Transmission%20Line%20-%20Pipeline.pdf>
- [11] *Uzemňovače a ochranné vodiče EZ* [online], <http://www.els.webzdarma.cz/uzem.html>

- [12] Ing. Jan Matouš. *Koroze kovových úložných zařízení a působení bludných proudů* [online]. <http://elektrika.cz/data/clanky/koroze-kovovych-uloznych-zarizeni-a-pusobeni-bludnych-proudu>
- [13] A.W.Peabody, Edited by Ronald L. Bianchetti. *Control of pipeline corrosion, second edition* [online]. 2001. <http://igs.nigc.ir/STANDS/BOOK/Corrosion-Control.pdf>
- [14] Holiday test [online]. <http://lmats.com.au/services/protective-coatings-test/holiday-continuity-test-on-coatings>
- [15] Ing. Michal Kříž, IN-L, spol. s r.o. [online] Popis normy prebraný s <http://www.odbornecasopisy.cz/res/pdf/36645.pdf>
- [16] [online] Popis normy prebraný s <https://shop.normy.biz/detail/90331>
- [17] Ing. Bohuslav Kramerius [online]. Popis normy prebraný s <http://elektrika.cz/data/clanky/zmeny-csn-50110>
- [18] Pipeline Corrosion [online] https://www.nace.org/uploadedFiles/Corrosion_Central/Pipeline%20Corrosion.pdf
- [19] Susan Bender. *Back to basics: What is cathodic protection?* [online]. For natural gas measurement, underground utilities and more blog, 2011 <https://www.lincenergysystems.com/linc-energy-blog/entry/what-is-cathodic-protection#.WMP6FRivBV>
- [20] [online] Obrazok prebraný s <http://speedo-marine.com/products/measure-testing/holiday-detector/>
- [21] [online] Obrazok prebraný s <http://www.fischer-technology.com/en/us/material-testing/holiday-detector/>
- [22] Corrosion and grounding [online]. <http://www.enviroscan.com/home/corrosion-and-grounding>
- [23] Created by GSG Systems [online]. <https://www.youtube.com/watch?v=QYd9ENn1nP0>
- [24] Karel Noháč, Zbyněk Janda. *Nové zkušenosti s výpočtem vyhodnocováním nebezpečného vlivu venkovního vedení vvn na blízké potrubí systému* [online]. Techniky a technologie, Slovgas 2015. http://www.szn.sk/slovgas/Casopis/2015/1/2015_1_08.pdf
- [25] PNE 33 0000-4 Podniková norma energetiky pro rozvod elektrické energie 2001. *Příklady výpočtu uzemňovacích soustav v distribuční a přenosové soustavě dodavatele elektřiny* [online]. http://www.csres.cz/Upload/PNE_33_0000_4_ed.3.pdf

Zoznam príloh

Nenašli sa žiadne položky obsahu.

